

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-153500

(43)Date of publication of application : 09.06.1998

(51)Int.Cl. G01L 1/24
G01L 1/00
G01N 21/23

(21)Application number : 08-315147

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 26.11.1996

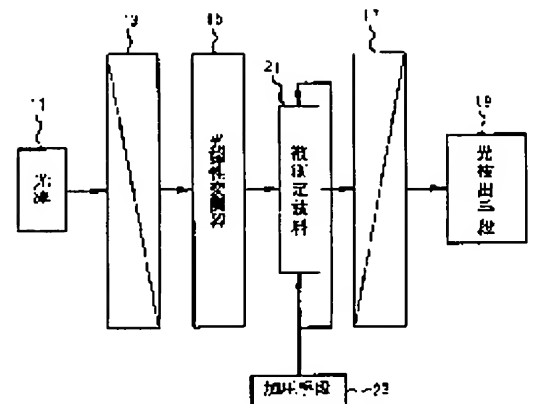
(72)Inventor : UEDA MOTOI

(54) METHOD AND DEVICE FOR MEASURING PHOTOELASTIC CONSTANT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for easily measuring the photoelastic constant of a sample to be measured having a light-transmissible material, including the wavelength dependency (wavelength dispersion).

SOLUTION: The light for measurement which is phase-modulated by a photoelastic modulator 15, is applied to a sample to be measured 21, and the external force generating, a stress in a state which makes its intensity an direction understandable is added to the same by a pressing means. The light having passed through the sample to be measured, is detected by a photo detecting means 19, while rotating the sample to be measured 21 which is irradiated by the light and to which the external force is added, in a condition that an axis of rotation is agreed with an optical axis of the measuring beam. The double refraction quantity of the sample to be measured 21 is calculated on the basis of the detected light. The photoelasticity constant of the sample to be measured 21, is measured on the basis of the calculated refraction quantity and the stress.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開平10-153500

(43)公開日 平成10年(1998) 6 月 9 日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	F I	
G 0 1 L 1/24		G 0 1 L 1/24	
	1/00		1/00
G 0 1 N 21/23		G 0 1 N 21/23	B

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 10 頁)

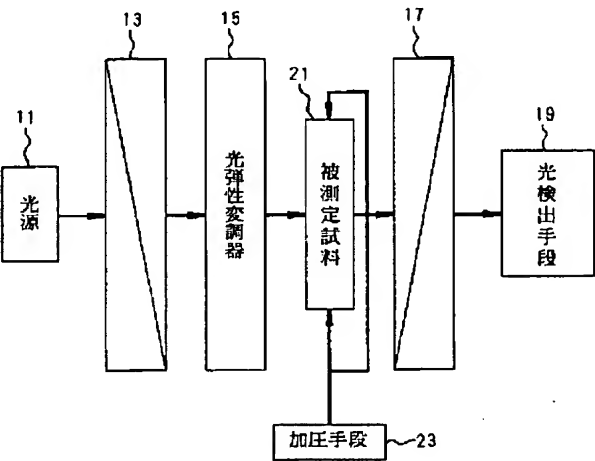
(21)出願番号	特願平8-315147	(71)出願人	000004112 株式会社ニコン
(22)出願日	平成 8 年(1996)11月26日		東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号
		(72)発明者	上田 基
			東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株 式会社ニコン内
		(74)代理人	弁理士 大垣 孝

(54)【発明の名称】 光弾性定数の測定方法および測定装置

(57)【要約】

【課題】 透光性材料を有する被測定試料 2 1 の光弾性定数を簡易にかつ波長依存性（波長分散）をも含め測定できる方法を提供する。

【解決手段】 被測定試料 2 1 に、光弾性変調器 1 5 により位相変調をかけた測定用の光を照射しかつ強さおよび方向が分かる状態の応力が生じるよう外力を加圧手段 2 3 により加える。前記光照射および外力を加えた状態の被測定試料を、回転軸が測定光の光軸に一致する状態で回転させながら被測定試料を透過してくる光を光検出手段 1 9 により検出する。該検出した光に基づいて被測定試料の複屈折量を算出する。該算出した屈折量と前記応力とに基づいて被測定試料の光弾性定数を測定する。



13：偏光子 17：検光子

測定方法の基本的な考えを説明する図

【特許請求の範囲】

【請求項1】 透光性を有する被測定試料に、位相変調をかけた測定用の光を照射しかつ強さおよび方向が分かる状態の応力が生じるよう外力を加え、前記光照射および前記外力を加えた状態の前記被測定試料を透過してくる光の偏光状態を検出することで求まる複屈折量と、前記応力とに基づいて、前記被測定試料の光弾性定数を測定することを特徴とする光弾性定数の測定方法。

【請求項2】 透光性を有する被測定試料に、位相変調をかけた測定用の光を照射しかつ強さおよび方向が分かる状態の応力が生じるよう外力を加え、前記光照射および外力を加えた状態の前記被測定試料を回転軸が前記測定光の光軸に一致する状態で回転させて、該被測定試料を前記光に対し少なくとも2つの状態で対向させ、各状態での被測定試料を透過してくる光を検出し、該検出した光に基づいて前記被測定試料の複屈折量を算出し、該算出した複屈折量と前記応力とに基づいて前記被測定試料の光弾性定数を測定することを特徴とする光弾性定数の測定方法。

【請求項3】 請求項1または2に記載の光弾性定数の測定方法において、光弾性定数の波長依存性を測定したい波長光を少なくとも発生する光源を用い、該光源からの光を分光手段により所定波長幅の光に分光しそれに位相変調をかけて前記測定用の光を生成し、該生成した測定光により前記光弾性定数の測定を実施し、これら一連の処理を前記波長依存性を測定したい各波長についてそれぞれ行なうことを特徴とする光弾性定数の測定方法。

【請求項4】 請求項3に記載の光弾性定数の測定方法において、前記光源としてハロゲンランプを用いることを特徴とする光弾性定数の測定方法。

【請求項5】 透光性を有する被測定試料の光弾性定数を測定するための装置であって、光弾性定数の波長依存性を測定したい波長光を少なくとも発生する光源と、該光源の光を所定波長幅の光に分光する分光手段と、前記分光光に位相変調をかけて測定光を生成し該測定光を前記被測定試料に照射する位相変調手段と、前記被測定試料に強さおよび方向が分かる状態の応力が生じるように外力を加えるための加圧手段と、前記外力が加えられた状態の被測定試料を、回転軸が前記測定光の光軸に一致する状態で回転させるための被測定試料回転手段と、被測定試料を透過してくる光を検出するための光検出手

段と、該光検出手段で検出される光に基づいて前記被測定試料の複屈折量を算出する複屈折量算出手段と、前記算出された複屈折量および前記応力に基づいて被測定用試料の光弾性定数を算出する光弾性定数算出手段とを具えたことを特徴とする光弾性定数測定装置。

【請求項6】 請求項5に記載の光弾性定数測定装置において、前記光源をハロゲンランプとしたことを特徴とする光弾性定数測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、透光性材料の光弾性定数およびその分散を高精度に測定する方法およびその実施に好適な装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、偏光を利用した光学系、すなわち偏光光学系の応用分野が急速に広がっている。このような偏光光学系において所望の特性を得るためには、偏光特性を高精度に制御できる技術が重要になる。

【0003】ところで、ガラスのように等質等方な透光性材料でも、これに力を加えて応力を生じさせると、光学的な異方性が生じて、ある種の結晶体と同様に複屈折性を持つようになる。これは光弾性効果と呼ばれ、透光性材料で単位応力当たりかつ単位光路当たりで生じる複屈折量が光弾性定数として定義されている。実際のところ透光性材料例えばガラスを様々な光学系に組み込んだ場合、この透光性材料にかかる熱応力や力学的外部応力が零であることはあり得ない。そのため透光性材料では、少なからず上記応力が原因で光弾性効果が生じ、そしてこの光弾性効果が原因で複屈折が生じる。このように生じる複屈折は、透光性材料を組み込んだ偏光光学系の偏光特性を害する原因の1つになる。従って、偏光光学系で偏光特性を高精度に制御するためには、透光性材料の光弾性定数を高精度に測定できる技術が、必要になる。

【0004】透光性材料の光弾性定数を測定する従来方法の一つとして、例えば特開平4-6444号公報に開示された方法がある。これは、光ヘテロダイン法の原理を応用した手法によってまず外部応力を加えない状態の試料の複屈折量と複屈折の主軸方位を高精度で求め、次に同様の手法により外部応力を加えた状態の試料の複屈折量と複屈折の主軸方位を高精度で求め、その後、これら求めたデータに基づいて光弾性定数を求めるものである（例えば公報第7頁左上欄第14行～右上欄第4行）。この方法によれば、 1×10^{-4} (nm/cm) / (Kg f/cm²) あるいはそれ以下のオーダーの光弾性定数測定が可能である（例えば公報第6頁右下欄最下行～第7頁左上欄第3行）。

【0005】一方、複屈折性をそもそも有する材料の複

屈折量を高精度で測定する従来方法の一つとして、例えば特開昭 63-82345 号公報に開示の方法がある。これは、位相変調した測定光を試料に照射すると共に、回転軸が測定光の光軸に一致するように試料を回転させ、その状態で試料を透過してくる光に基づいて試料の複屈折量を測定するものである（例えば公報第 2～第 3 頁の実施例）。この方法によれば、複屈折を $\pm 0.01 \text{ nm}$ の精度で測定できることが期待できる（公報の例えば第 2 頁右下欄第 6～9 行）。直交偏光子の間に被測定物とバビネソレイユ位相補償板を配した一般的な偏光補償法では複屈折を $\pm 0.1 \text{ nm}$ 程度の精度でしか測定できなかった点と比べると、特開昭 63-82345 号公報に開示のこの方法は、複屈折の測定法として優れた方法といえた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開昭 63-82345 号公報には、複屈折性をそもそも有する透光性材料の複屈折量を測定する方法が記載されているにすぎない。ガラスなどのような通常は複屈折性を示さない透光性材料の複屈折性を測定し得る技術はもちろん、そのような透光性材料の光弾性定数を測定し得る技術については何ら記載も示唆もされていない。

【0007】また、特開平 4-6444 号公報に開示された方法では、光源として横ゼーマンレーザ装置等のビート信号を発生させる装置を用いる必要がある（例えば第 4 頁左下欄第 2 行）。横ゼーマンレーザ装置自体が高価なものであるため、特開平 4-6444 号公報に開示された方法では簡易に測定装置を作製することはできないという問題点があった。さらに、横ゼーマンレーザ装置を用いる関係上、実質的には測定光の波長は単一に限定され、所望の波長における光弾性定数測定は不可能であるという問題点があった。偏光光学系のレンズ、基板やプリズムなどに多く用いられる一般的な光学ガラスの光弾性定数は分散を有し、波長によって異なった値を示す。従って光弾性定数を波長依存性（波長分散）を考慮して高精度に測定し、使用する光の波長における値を認識することは、偏光光学系を用いたシステムを開発する上で必須と言える。しかし、特開平 4-6444 号公報に開示された方法は、光弾性定数を波長分散まで考慮して測定できないものであるので、好ましくない。

【0008】透光性材料の光弾性定数を簡易にかつ波長依存性（波長分散）をも含め測定できる方法とその実施に好適な装置が望まれる。

【0009】

【課題を解決するための手段】そこでこの出願の光弾性定数の測定方法の発明によれば、透光性を有する被測定試料に、位相変調をかけた測定用の光を照射しかつ強さおよび方向が分かる状態の応力が生じるように外力を加え、前記光照射および前記外力を加えた状態の前記被測

定試料を透過してくる光の偏光状態を検出することで求める複屈折量と、前記応力とに基づいて、前記被測定試料の光弾性定数を測定することを特徴とする。

【0010】この発明によれば、外力が加えられた状態の被測定試料に位相変調をかけた光（以下、位相変調光ともいう。）を照射するので、位相変調光は、光弾性効果が生じた状態の被測定試料を透過することになる。そのため、例えば被測定試料が通常状態では複屈折性を示さないものであったとしても、この発明の方法による測定時においては、光弾性効果に起因し複屈折性が生じている状態の被測定試料を位相変調光は透過することになる。一方、特定の位相振幅及び周波数で位相変調をかけた測定用の光を被測定試料を透過させ、該透過光のうち特定の偏光方向の交流（ ω ）成分及び直流（DC）成分を検出してそれら結果を演算すると複屈折が測定できることが知られている（例えば文献 I：光学技術コンタクト Vol. 27, No. 3 P. 27（1989）。詳細は後述する。）。さらにまた、被測定試料に応力を生じさせて光弾性効果を生じさせた場合に生じる複屈折からは、前記応力が分かっているれば、光弾性定数が求まることも知られている。しかもこの発明の方法で測定される複屈折は光弾性効果に起因するものであり、かつ、この発明では被測定試料に生じる応力の方向および強さが分かるように被測定試料に外力を加えている。したがって、この発明の方法によれば、光弾性定数を求めることができる。

【0011】またこの発明の場合は位相変調光を用いることから光源は特に限定されない。これは光弾性定数の波長依存性を測定したい波長光を少なくとも発生する帯域の広い光源を用い、かつ、これを分光手段で所定波長幅に分光して測定を行なえることを意味する。そのため、光弾性定数の波長依存性（光弾性定数の波長分散）を簡易に測定出来る。

【0012】また、この出願の光弾性定数の測定装置の発明によれば、透光性を有する被測定試料の光弾性定数を測定するための装置であって、光弾性定数の波長依存性を測定したい波長光を少なくとも発生する光源と、該光源の光を所定波長幅の光に分光する分光手段と、前記分光光に位相変調をかけて測定光を生成し該測定光を前記被測定試料に照射する位相変調手段と、前記被測定試料に強さおよび方向が分かる状態で応力を加えるための加圧手段と、前記応力が加えられた状態の被測定試料を、回転軸が前記測定光の光軸に一致する状態で回転させるための被測定試料回転手段と、被測定試料を透過してくる光を検出するための光検出手段と、該光検出手段で検出される光に基づいて前記被測定試料の複屈折量を算出する複屈折量算出手段と、前記算出された複屈折量および前記応力に基づいて被測定用試料の光弾性定数を算出する光弾性定数算出手段とを具えたことを特徴とする。

【0013】この光弾性定数測定装置によれば、加圧手段を具えるので被測定試料に強さおよび方向が分かる状態で応力を生じさせることができる。さらに光源、分光手段および位相変調手段を具えるので、応力を生じさせた状態の被測定試料に希望の波長の光でかつ位相変調をかけた光を照射できる。さらに被測定試料回転手段、光検出手段、複屈折量算出手段および光弾性定数算出手段を具えるので、被測定試料の複屈折量を求めることと、該求めた複屈折量と前記応力とから被測定試料の光弾性定数を求めることができる。そのため、この出願に係る光弾性定数の測定方法を容易に実施することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照してこの出願の光弾性定数測定方法および光弾性定数測定装置の実施の形態について説明する。しかしながら説明に用いる各図はこの発明を理解出来る程度に概略的に示してあるにすぎない。また、各図において同様な構成成分については同一の番号を付して示し、その重複する説明を省略することもある。

【0015】この実施の形態では、特定の位相振幅および周波数で位相変調をかけた測定用の光を被測定試料に照射する。しかも、被測定試料に生じる応力の大きさおよび強さが分かるように被測定試料に外力を加えた状態で上記の測定用の光を照射する。そして、上記光照射および上記外力を加えた状態の被測定試料を透過してきた透過光のうち、特定の偏光方向の交流(ω)成分及び直流(DC)成分を検出してそれら結果を演算することにより複屈折を測定する。そして、上記応力および複屈折量から被測定試料の測定光に対する光弾性定数を求める。これについて図1を参照してもう少し具体的に説明*30

$$I_{DC}(\theta) = \{(\rho^2 - 1) \sin 2\theta + 1\} \quad \dots (1)$$

$$I_{\omega}(\theta) = -\rho \cdot \sin 2\theta \cdot \sin \Delta\phi \cdot J_1(A) \cdot \sin(\omega t) \quad \dots (2)$$

【0019】ただし式(1)、式(2)において、ρは被測定試料21の振幅透過率、Δφは被測定試料21で生じる複屈折(位相差)、J₁(A)はベッセル関数の1次の係数、tは時間を示すものである。

【0020】また上記の式(1)、式(2)の関係より振幅透過率ρ、複屈折Δφはそれぞれ式(3)および式※

$$\rho = \{2 I_{DC}(\pi/4) / I_{DC}(0) - 1\}^{1/2} \quad \dots (3)$$

$$\Delta\phi = \sin^{-1} \{I_{\omega}(\pi/4) / [\rho \cdot J_1(A) \cdot I_{DC}(0)]\} \quad \dots (4)$$

【0022】ここにI_{DC}(0)はθ=0のときの直流成分であり、極大値をとる。またI_{DC}(π/4)、I_ω(π/4)はそれぞれθ=(π/4)の時のI_{DC}、I_ω

*する。ここで図1はこの発明の光弾性定数測定方法を実施する基本的な測定系例を示した図である。すなわち、光源11と、偏光子13と、光弾性変調器(PEM)15と、偏光面を偏光子13に対して45度回転させた検光子17と、光検出手段19と、被測定試料21に外力を加えるための加圧手段23とを具えた構成を示した図である。構成成分11~19は測定用の光の光軸に沿ってこの順に並べてある。また被測定試料21は光弾性変調器15と検光子17との間に挿入される。

【0016】この測定系では、光源11から発せられた光は、偏光子13によって直線偏光に変換され、更に光弾性変調器15により位相変調がかけられる。この光は被測定試料21に照射される。被測定試料を透過する光は偏光面を偏光子13に対して45度回転させた検光子17を透過した後に光検出手段19にて検出される。

【0017】被測定試料21が特定の方向に進相軸を持つ複屈折性を有する試料である場合、該被測定試料21を測定光軸と垂直な面で回転させると、光検出手段19で検出される信号のω成分及びDC成分は被測定試料21の回転角の関数として変化する。具体的には、光検出手段19で検出される光のω成分、DC成分をそれぞれをI_ω(θ)、I_{DC}(θ)で表すとした場合、光弾性変調器15での変調周波数がω、変調振幅AがA=137.79度であると、式(1)、式(2)に示す関係式が成り立つ。なおこれら式(1)、式(2)は例えば文献I(光学技術コンタクトVol. 27, No. 3, P. 27(1989))に開示されている。

【0018】

【数1】

※(4)によって求められる。なおこれら式(3)、式(4)についても例えば文献I(光学技術コンタクトVol. 27, No. 3, P. 27(1989))に開示されている。

【0021】

【数2】

である。

【0023】したがって、測定時に被測定試料21を測定光軸と垂直な面で回転させてI_{DC}が極大になる状態

と、その状態に対し試料21を $\pi/4$ 回転させた状態とを生じさせ、各状態での検出器19からの出力の ω 成分及びDC成分すなわち $I_{\omega}(\pi/4)$ 及び $I_{DC}(0)$ 、 $I_{DC}(\pi/4)$ を測定し、これらを式(3)、式(4)に代入すると、被測定試料の有する複屈折量を求めることができる。

【0024】ここで上記のごとく複屈折量が求まる点は既に説明したように例えば文献I等に記載されているところである。しかしこの発明では加圧手段23により被測定試料に外力を加えた状態で上記複屈折量を測定す

る。すなわち光弾性効果に起因する複屈折量をこの発明*

$$n_1 = n_0 + C_1 \sigma_1 + C_2 (\sigma_2 + \sigma_3)$$

$$n_2 = n_0 + C_1 \sigma_2 + C_2 (\sigma_3 + \sigma_1)$$

$$n_3 = n_0 + C_1 \sigma_3 + C_2 (\sigma_1 + \sigma_2)$$

【0027】ここで、 C_1 、 C_2 は光の波長および透光性材料の物質に固有の定数、 n_0 は無応力のときの屈折率である。

【0028】また、透光性材料として広く用いられている種々の光学ガラスは、応力に対して破壊直前まで弾性的性質を示すとされており、光学的にも上述の式

(5)を満足する性質、つまり応力の大きさに比例して複屈折量も変化する性質を示すとされている。したがってこのような透光性材料に光を入射する場合、その方向※

$$\Delta\phi = (2\pi/\lambda)(n_1 - n_2) \cdot L$$

$$= (2\pi/\lambda)(C_1 - C_2)(\sigma_2 - \sigma_1) \cdot L$$

$$= (2\pi/\lambda) \cdot C \cdot (\sigma_2 - \sigma_1) \cdot L$$

【0030】ここで式(6)において、 λ は光の波長、 L は透光性材料の光透過厚、 $C = C_1 - C_2$ は光弾性定数と呼ばれる。

【0031】更に既知の大きさの $\sigma_1 = 0$ となる一軸性応力を印加した場合を考えると、式(6)は $\Delta\phi = (2\pi/\lambda) \cdot C \cdot \sigma_2 \cdot L$ となるので、これをさらに光弾性定数 C についての式に展開すると、下記の式(7)となる。

$$C = \Delta\phi \lambda / (2\pi \sigma_2 \cdot L)$$

【0033】この式(7)から分かるように、光弾性定数はこの発明の方法によって測定された複屈折量 $\Delta\phi$ を、被測定試料に生じている応力値と被測定試料の光透過厚 L とで除することによって得ることができる。この応力値と被測定試料の光透過厚 L とは、測定条件として既知であるから、この発明の方法によれば光弾性定数を求められることが分かる。しかも、光源11として、光弾性定数の波長依存性を測定したい波長光を少なくとも発生する帯域の広い光源を用いることが可能である。そして、該光源の光を分光手段で所定波長幅に分光してそれを測定光として用いることができる。そのため、光弾性定数の波長依存性を簡易に測定することが出来る。

【0034】

【実施例】次に実施例によりさらにこの発明を説明する。なお、以下の実施例は一般に多く開発が行われてい

*では測定する。ここで光弾性定数を一般的な形で説明すると、以下のようになる。

【0025】応力が生じたときの透光性材料の屈折率はいわゆる屈折率楕円で表すことができ、この時、屈折率楕円の主屈折率軸は主応力軸に一致する。一般に主屈折率を n_1 、 n_2 、 n_3 とそれぞれし、主応力を σ_1 、 σ_2 、 σ_3 (それぞれ添字が共通なものは同一方向にある)とそれぞれすると、これらの間には式(5)のごとき関係が成立する。

【0026】

【数3】

$$\dots (5)$$

※が式(5)中の σ_3 と同一方向となるように座標を取れば、入射光はそれぞれ σ_1 、 σ_2 方向の、すなわち互いに振動面が直行する2つの直線偏光に分かれる。またこのように光が入射された透光性材料から光が出射する時には、各主応力方向の屈折率差(n_1 、 n_2)が生じるため、これらの2つの直線偏光間には式(6)で表せるような複屈折量 $\Delta\phi$ が生じる。

【0029】

【数4】

$$\dots (6)$$

30★ $\pi/\lambda) \cdot C \cdot \sigma_2 \cdot L$ となるので、これをさらに光弾性定数 C についての式に展開すると、下記の式(7)となる。

【0032】

【数5】

$$\dots (7)$$

る可視域を中心とした波長域の光を用いる光学系を意識したものであり、かつ、波長300~1000nmにおける光弾性定数の測定を可能にする例である。

【0035】まず、本発明者が実施例において用いた光弾性定数測定装置の構成を図2を参照して説明する。ただし、図2において図1に示した構成成分と同様な構成成分については同一の符号を付して示してある。

【0036】実施例で用いた光弾性定数測定装置は、図1のものと同様に、光源11、偏光子13、光弾性変調器15、検光子17、光検出手段19および加圧手段23を具える。

【0037】ここで光源11として、光弾性定数の波長依存性を測定したい波長光を少なくとも発生する光源(連続光源ともいう)を用いる。ここでいう連続光源とは、完全に任意な波長ごとの光弾性定数の測定を考える

のであれば連続スペクトルを示す光源が必要であるが、光弾性定数の測定を希望するいくつかの波長で輝線を示す光源であれば連続スペクトルを示すものに限られない。ここでは各種放電管に比べて安定性がよく安価なハロゲンランプを光源11として用いた。なお図2において、11aは光源11を駆動するための電源を示す。

【0038】光弾性変調器15としてここではPEM-90（米国HINDS INSTRUMENTS 社製のもの）を用いた。この光弾性変調器15は媒体として石英ガラスを用いたものである。なお図2において、15aは光弾性変調器15に交流電圧を供給するための交流電圧発生装置を示す。

【0039】偏光子13および検光子17それぞれは、より高い測定精度を得るためには消光比の大きいものが好ましい。これに限られないが、ここでは消光比が10,000:1のグラントムソンプリズムを用いた。

【0040】光検出手段19として、この場合は光電子増倍管（フォトマルチプライヤ）であって可視から近紫外域において感度が高い光電子増倍管を用いた。ただし、被測定試料21のセッティングあるいは被測定試料21での測定光透過面の2面の平行度が悪い場合には、該被測定試料21を回転手段35（後述する）で回転させた際にビームにブレが生じて、受光面の感度ムラの原因になる。そのようなときは、必要に応じて透過拡散板、積分球等を、被測定試料21と光電子増倍管19との間に設けるのが良い。なお図2において、19aは光電子増倍管19を駆動するための電源、19bは光電子増倍管19の出力を増幅するためのプリアンプをそれぞれ示す。

【0041】加圧手段23は、外力を被測定用試料に加える加圧部23aと、被測定試料21を保持する機能および加圧部23aからの外力により被測定試料21を加圧出来る機能を有した保持部23bと、加圧部23aからの外力の強さをモニターするための圧力/電圧変換器（ロードセルとも呼ばれる）23cと、圧力/電圧変換器23cを駆動するための電源23dと、圧力/電圧変換器23cの出力電圧を検出する直流電圧計23eとを具えた構成の手段としてある。加圧手段23のより具体的な構成例を図3に示した。この図3に示した例では、加圧部23a、保持部23bを筐体部25f（図2では図示せず）に挿入した構成としてある。加圧部23a、保持部23bおよび筐体25fそれぞれを金属で構成してある。測定光の照射を妨げることがない方向から加圧部23aを加圧すると、保持部23bを介し被測定試料21に外力が加わるので、該被測定試料21では圧縮応力が生じる。被測定試料21で応力が均一に生じるように、被測定試料21と保持部23bの間にはシリコンゴム25gを挿入してある。

【0042】さらにこの光弾性定数測定装置は、光源11から出た光を平行光にするためのコリメータ31を、

光源11と偏光子13との間に具える。ハロゲンランプを光源として用いているので、レーザを光源とする場合に比べてコリメータの性能が測定精度に大きく影響する。コリメータの選択に当たってはその点を考慮する。またコリメータ31は、任意の波長の光に対応するために、反射系のもの、また屈折系のものとするならズーム機能を持つものとするのが望ましい。また迷光の問題が懸念される場合は、光源11と試料21との間の任意の位置に絞りを設けるのが良い。

【0043】さらにこの光弾性定数測定装置は、光源11の光を所望波長幅の光に分光するための分光フィルタ33を、コリメータ31と偏光子13との間に具える。分光フィルタ33をどのような分光特性の分光フィルタとするかは、要求される波長精度、波長分解能などを考慮して決める。ただし、光弾性変調器15の媒体となっている石英ガラスの光弾性定数の波長分散の影響を受けない程度の透過波長幅を持つ分光フィルタとする必要がある。この実施例では分光フィルタ33を通過した後に適当な光量が得られることも考え、中心波長の半値幅が約10nmの分光特性を持った分光フィルタを用いた。しかも、このような構成の分光フィルタであって中心波長が異なる分光フィルタを多数用意し、これらを分光フィルタ切換手段33aにより適時切り換えて使用できる構成としてある。分光フィルタ切換手段33aは、例えば円板上の各位置が分光特性の異なる分光フィルタとなっている円板をステッピングモータで適時切り換える等の手段で構成することが出来る。

【0044】さらにこの光弾性定数測定装置は、被測定試料回転手段35を具える。被測定試料回転手段35とは、被測定試料21を加圧手段23で加圧した状態で、しかも、回転軸が測定光の光軸に一致する状態で回転させるためのものである。例えばステッピングモータと好適な回転機構とにより該手段35を構成することが出来る。

【0045】さらにこの光弾性定数測定装置は、光電子増倍管19の出力（詳細にはプリアンプ19bの出力）から交流（ ω ）成分及び直流（DC）成分を分離するためのAC/DC分離器37と、光電子増倍管19の出力から分離された ω 成分と交流電圧発生装置15aとのロックイン状態を担保するロックインアンプ39と、分離されたDC成分を測定する直流電圧計41と、この光弾性定数測定装置の制御部として機能するコンピュータ43とを具える。このコンピュータ43には、光源用電源11a、分光フィルタ切換手段33a、圧力/電圧変換器用電源23d、被測定試料回転手段35、DC電圧計23e、ロックインアンプ39、直流電圧計41がそれぞれ接続してある。

【0046】この光弾性定数測定装置では、光検出手段19の出力と被測定試料回転手段35での試料の回転角度についての情報等とをパソコン43が演算することに

より複屈折量を算出できる（複屈折量算出手段）。また、加圧手段21で印加される外力から求められる被測定試料21で生じる応力と、上記算出される複屈折量とをパソコン43が演算することにより光弾性定数を算出できる（光弾性定数算出手段）。

【0047】次に、光弾性定数の測定手順および測定結果について説明する。まず、被測定試料について説明する。被測定試料21にて一軸性の均一な応力を生じさせるためには、図4に示したように、被測定試料21の加圧方向Pに沿う寸法aに対し、加圧面を構成する各辺の寸法b、cをある程度大きくする必要がある。また、加圧される面を構成する各辺b、cのうち、測定光の光軸Lに沿う寸法ここではbの寸法は、測定光の透過厚であるので、大きくする程レターデーションが大きくなり測定精度が向上する。一方、加圧される面を構成する各辺b、cの寸法を大きくしすぎると、効率良く被測定試料に応力を生じさせることができなくなる。さらに、被測定試料21を加圧状態で回転する必要があるため被測定試料21は小さい方が回転機構が簡易になるので好ましい。しかし、被測定試料21を小さくするに従い測定光のビーム径も小さくする必要があるが生じるが、測定光のビーム径を小さくし過ぎるとコリメータ31の性質から測定光の光量低下を余儀なくされ、その結果、測定精度を低下させる原因になる。さらにビーム径が小さい程、測定精度に対しホコリ等の影響が生じてくる。これらの理由から被測定試料21は直方体状であって上記b、a、cの各寸法がb、a、cの順でいて10×15×20mmとなった試料とした。また被測定試料21における測定光が照射される面および透過側の面それぞれ（a×c=15×20で規定される2面）の平行度が悪いと、測定時に被測定試料を回転させた際に測定光のビームのぶれが大きくなり、そのため光検出手段19の感度ムラの原因となる。したがって上記平行度はそれを抑制できるような平行度とする。これに限られないが、この実施例では上記平行度が1分となるように上記の2面を研磨して被測定試料21とした。

【0048】一方、測定光のビーム径をコリメータ31により5mm程度に調整する。また分光フィルタ切換手段33aを用いて分光フィルタ33を所望の波長を透過させ得るものに切り換える。また、光弾性変調器15の変調振幅Aが137.79度となり、かつ、変調周波数 ω が50KHzとなるように、光弾性変調器15を交流電圧発生装置15aにより制御する。変調振幅Aを137.79度としたのは、こうすると上記の式（1）、式（2）の関係が満たされるからである。また変調周波数 ω を50KHzとしたのは、こうすると光弾性変調器15で用いた媒体である石英ガラスの弾性変形の追従が良いので、光電子増倍管19を経由してくる信号をロックインアンプ39により検出し易いからである。交流電圧発生装置15aは参照信号をロックインアンプ39にも

送っている。

【0049】被測定用試料21を加圧手段23により加圧する。この際に加圧力は圧力／電圧変換器23cの出力に現れるので、これを直流電圧計23eを介しコンピュータ43は取り込む。コンピュータ43はこの加圧により被測定試料に生じている応力を算出する。

【0050】光電子増倍管19の出力は、AC／DC分離器37で ω 成分およびDC成分に分離される。 ω 成分はロックインアンプ39を介しコンピュータ43に入力され、DC成分は直流電圧計41を介しかつ図示しないA／D変換器でデジタル信号に変換された後にコンピュータ43に入力される。コンピュータ43は、光電子増倍管19からの ω 成分ならびにDC成分と、被測定試料21を回転させた回転角の相関と、圧力／電圧変換器23cからの信号に基づいて算出した被測定試料での応力とに基づいて、上記式（1）～式（7）についての演算をして、光弾性定数を算出する。

【0051】具体的な測定結果を次に説明する。被測定試料として4種類の被測定試料1～4を用意した。内部歪みが残留していると測定精度を低下させる原因となるので、光弾性定数の測定をする前に、これら被測定試料にアニールをそれぞれ施した。なおこれら被測定試料は光学ガラスの中でも比較的光弾性定数が小さいとされているものを選択した。具体的には被測定試料1および2それぞれは、PbO（酸化鉛）の含有量が高いフリント系ガラスであり、被測定試料3および4はフッ化物リン酸塩系のガラスである。

【0052】まず、被測定試料1を用いる。そして被測定試料1に外力を加えた状態（被測定試料に応力を生じさせた状態）で、かつ、この被測定試料を回転手段35により回転させながら、被測定試料の透過光を検出手段19で検出する。しかも、この検出光についての ω 成分 $I_{\omega}(\theta)$ およびDC成分 $I_{DC}(\theta)$ すなわち、上述した $I_{DC}(0)$ 、 $I_{DC}(\pi/4)$ および $I_{\omega}(\pi/4)$ をそれぞれ測定する。なお被測定試料に印加する外力は、ここでは被測定試料で生じる応力がゼロから約50N/cm²の間で6水準となるように、設定した。次に、上記測定で得られた $I_{\omega}(\theta)$ および $I_{DC}(\theta)$ と上記の式（3）、式（4）とに基づいて、被測定試料で生じている複屈折をそれぞれ算出する。またこの一連の処理を、測定光として種々の波長の光、具体的には中心波長が365nm、405nm、435nm、510nm、635nmの各光を用いた場合それぞれについて行なった。なお、 $I_{DC}(0)$ を与える角度が既知である場合は、透過光測定は被測定試料を回転手段35により回転させながら行なう必要はない。この既知の角度で透過光を測定し、その位置から $\pi/4$ ずれた角度に試料を回転させた後に、再び透過光を測定するというようにしても良い。

【0053】次に、算出された複屈折と応力とを用い

つ最小二乗法を用いて、両者の関係の近似直線を作成する。図5にこの近似直線と、上記求めた複屈折量とを併せて示した。ただし図5では、横軸に被測定試料で生じている応力 (N/cm^2) をとり、縦軸に複屈折 (nm/cm) をとっている。また図5において、黒塗り四角印は測定光として中心波長が365nmの光を用いたときのもの、黒塗り丸印は測定光として中心波長が405nmの光を用いたときのもの、黒塗り三角印は測定光として中心波長が435nmの光を用いたときのもの、黒塗り菱形印は測定光として中心波長が510nmの光を用いたときのもの、白抜き四角印は測定光として中心波長が635nmの光を用いたときのものである。

【0054】図5から分かるようにいずれの波長についても、応力と複屈折との関係は直線に近似できた。また、いずれの近似直線も R^2 (平均二乗誤差) = 0.998~0.996の誤差のものであった。また、同様な測定を再度行なったときの測定の再現性も非常に高かった。ここで、上記の(6)式中の $\Delta\phi$ が複屈折であり、 $\sigma_2 - \sigma_1$ が応力であるから、図5に示した各近似直線の傾きは各波長ごとの光弾性定数といえる。そして特筆すべきことは、ここで得られた直線がいずれも R^2 (平均二乗誤差) = 0.998~0.996であるから、この発明の測定方法によれば、応力の大小にかかわらず光弾性定数を高い精度で測定できるということである。例えば、 $R^2 = 0.996$ としても0.4%程度のバラツキで光弾性定数を測定出来るといえる。したがって、光弾性定数が $0.05 \text{ cm}^2/\text{N}$ 程度と小さな場合であっても0.4%程度のバラツキで光弾性定数の測定ができるといえる。これは、特開平4-6444号公報に開示された方法と同程度であると言える。ただし、特開平4-6444号公報に開示された方法ではガラスなどのような通常は複屈折性を示さない透光性材料の複屈折性を測定出来ないが、本発明によればそれが可能になる。

【0055】次に、上記4種の被測定試料それぞれについて光弾性係数をこの発明に係る測定方法によりそれぞれ実測する。そして光の波長に対する光弾性定数の変化をプロットしてみた。その結果を図6に示した。図6から、光学ガラスの光弾性定数の分散は、光学ガラスの組成の違いによって大きく異なることがわかる。しかも波長によって光弾性定数が大きく変化するガラスが存在することがわかる。これは、高精度な偏光の制御を必要とする光学系では、実際に使用する波長における透過性材料の光弾性定数を設計に反映させる必要があることを明

確に示唆している。そして、本発明の方法を用いると、光学系を設計するに当たり光弾性定数の波長依存性を考慮した設計をも容易に行なえる。

【0056】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明は、光弾性定数を測定するに当たり、位相変調をかけた測定光を用いて複屈折を測定する方法(光弾性変調法)と、被測定試料を加圧する方法とを利用するので、透光性を有する被測定試料の光弾性定数を従来よりも高精度に且つ所望の光の波長について簡易に測定できるものである。種々の透過性材料について本発明による測定を行い、分散特性も含めた、光弾性定数を詳細に測定することによって、高精度に制御された偏光を用いた光学系に用いる光学ガラスの開発、選定に役立てることができ。また、同光学系を用いた装置の開発にあたって、種々の原因でガラスに働く応力をどの程度抑制するべきか、と言った仕様を与えることも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の光弾性定数測定方法の基本的な考えを説明する図である。

【図2】光弾性定数測定装置の実施例の説明図である。

【図3】加圧手段の説明図である。

【図4】被測定試料の説明図である。

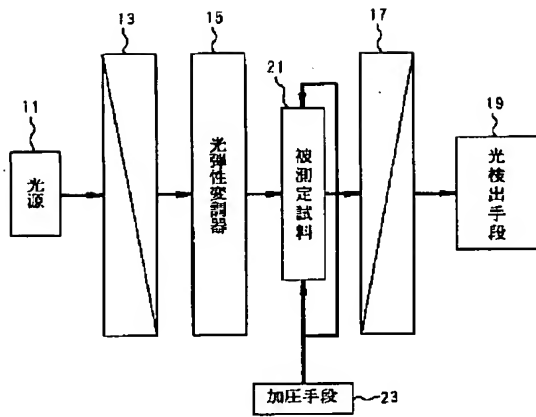
【図5】実施例の説明図であり、特に、測定光の波長をパラメータとしたときの応力と複屈折との関係を示した図である。

【図6】実施例の説明図であり、特に、組成が異なる試料毎の測定光波長と光弾性定数との関係を示した図である。

【符号の説明】

- 11 : 光源
- 13 : 偏光子
- 15 : 光弾性変調器
- 17 : 検光子
- 19 : 光検出手段 (光電子増倍管)
- 21 : 被測定試料
- 23 : 加圧手段
- 23a : 加圧部
- 23b : 保持部 (被測定試料保持部)
- 23c : 圧力/電圧変換器
- 23d : 圧力/電圧変換器用電源
- 23e : 直流電圧計

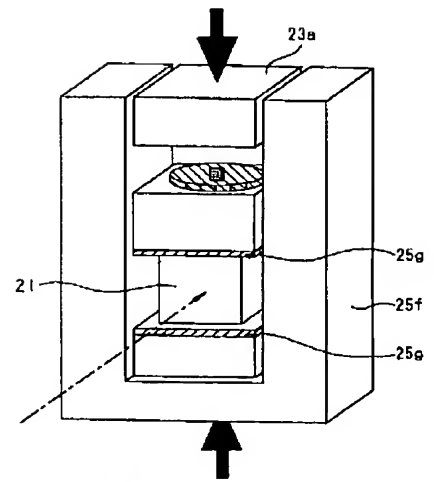
【図1】



13: 偏光子 17: 検光子

測定方法の基本的な考えを説明する図

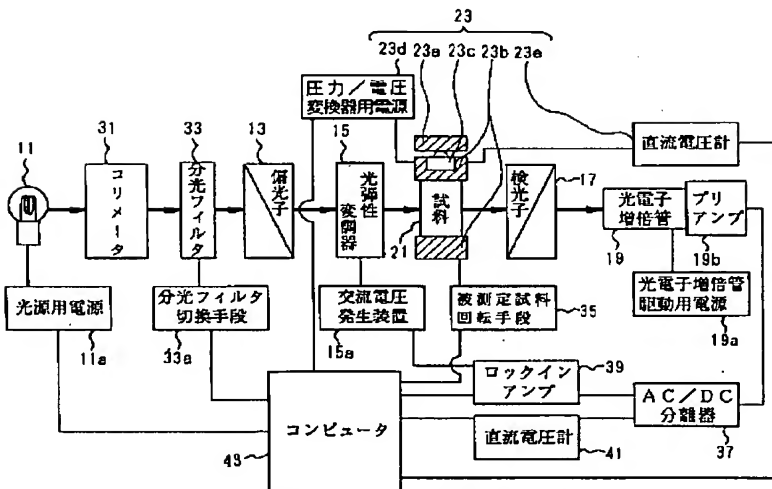
【図3】



25f: 筐体 25g: シリコンゴム

加圧手段の説明図

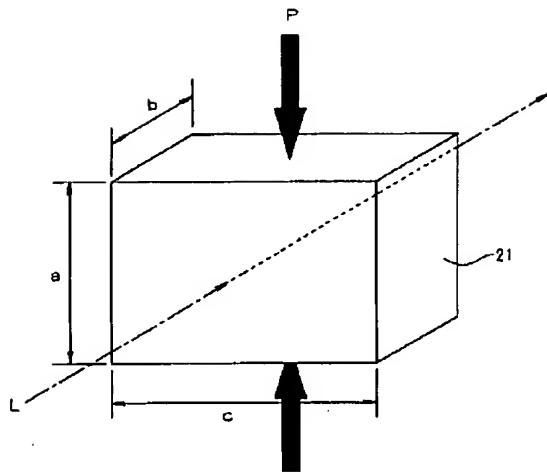
【図2】



11: ハロゲンランプ 23a: 加圧部
23b: 保持部 23c: 圧力/電圧変換器 (ロードセル)

光弾性定数測定装置の実施例の説明図

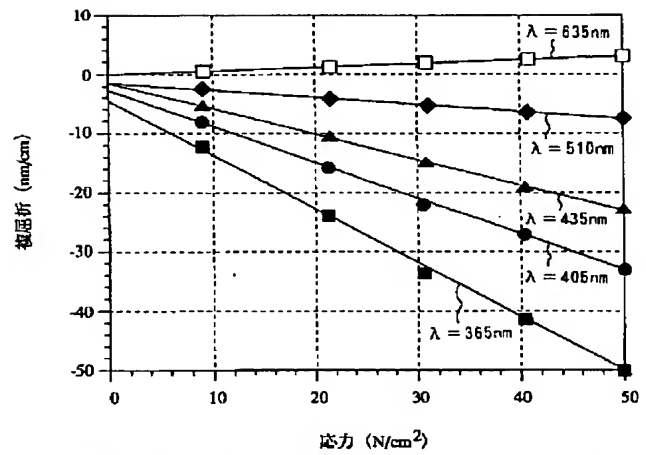
【図4】



L : 光軸

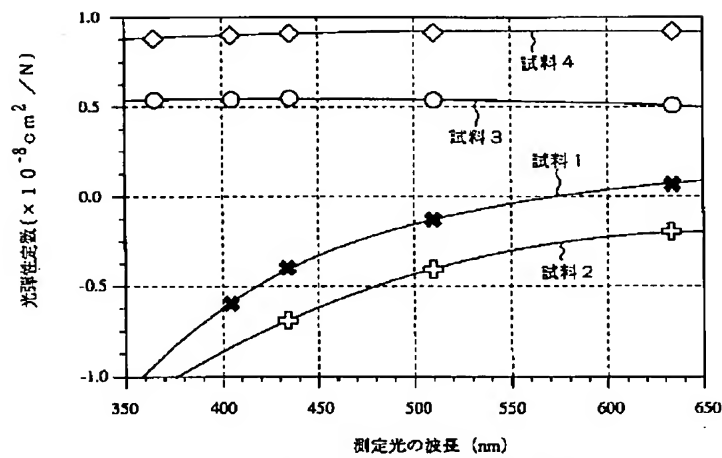
被測定試料の説明図

【図5】



測定光の波長をパラメータとしたときの応力と複屈折との関係

【図6】



組成が異なる試料毎の測定光波長と光弾性定数との関係